



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 196 16 038 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
G 01 S 17/06

②1 Aktenzeichen: 196 16 038.3  
②2 Anmeldetag: 23. 4. 96  
④3 Offenlegungstag: 30. 10. 97

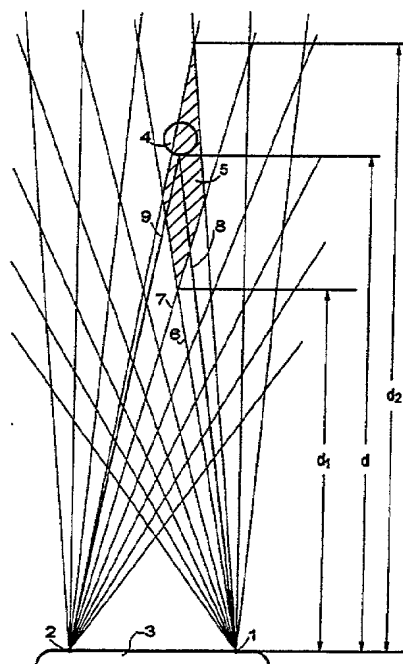
DE 196 16 038 A 1

⑦1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Winner, Hermann, Dipl.-Phys. Dr., 76229 Karlsruhe, DE;  
Gaillard, Alain, Dipl.-Ing., 76133 Karlsruhe, DE;  
Uhler, Werner, Dipl.-Phys. Dr., 76646 Bruchsal, DE

⑤4 Verfahren und Meßeinrichtung zur Bestimmung der Lage eines Objekts

⑤7 Bei einem Verfahren und bei einer Meßeinrichtung zur Bestimmung der Lage eines Objekts in bezug auf eine Meßeinrichtung mit einem optischen Sender, der einen Lichtstrahl unter einem sich verändernden Sendewinkel emittiert, und mit einem vom Sender beabstandeten winkelauflösenden optischen Empfänger, wobei aus dem jeweiligen Sendewinkel und dem jeweiligen Winkel, unter dem der Empfänger von dem Objekt reflektierte Strahlung empfängt (Empfangswinkel), geschlossen wird, in welcher von durch die Winkelauflösung des Senders und des Empfängers gegebenen Auflösungszelle sich das Objekt befindet, wird der vom Sender emittierte Lichtstrahl moduliert. Die Phasendifferenz zwischen der Modulation des gesendeten Lichtstrahls und der Modulation der empfangenen Strahlung wird gemessen. Aus der Phasendifferenz wird die Lage des Objekts innerhalb der jeweiligen Auflösungszelle berechnet.



DE 196 16 038 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Meßeinrichtung zur Bestimmung der Lage eines Objekts in bezug auf eine Meßeinrichtung mit einem optischen Sender, der einen Lichtstrahl unter einem sich verändernden Sendewinkel emittiert, und mit einem vom Sender beabstandeten winkelauflösenden optischen Empfänger, wobei aus dem jeweiligen Sendewinkel und dem jeweiligen Winkel, unter dem der Empfänger von dem Objekt reflektierte Strahlung empfängt (Empfangswinkel), geschlossen wird, in welcher von durch die Winkelauflösung des Senders und des Empfängers gegebenen Auflösungszelle sich das Objekt befindet.

Zur Bestimmung der Lage eines Objekts ist unter anderem ein optisches Triangulationsverfahren nach der Gattung des Hauptanspruchs bekannt und beispielsweise beschrieben in: J.A. Marzalee, R.A. Myllyla: Performance test of an angular scan LED array-based range imaging sensor, Proc. of the SPIE — The International Society for Optical Engineering 2088 (1994) p. 59—68). Die Meßgenauigkeit solcher Verfahren kann bei hoher Winkelauflösung des Senders und des Empfängers recht genau sein, jedoch werden unter anderem aus Kostengründen Sender und Empfänger mit begrenzter Winkelauflösung verwendet. Dadurch ergeben sich relativ große Auflösungszellen, deren Ausdehnung in longitudinaler Richtung — senkrecht zur Achse Empfänger/Sender — mit zunehmender Entfernung von der Meßeinrichtung größer wird.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein einfach zu realisierendes optisches Triangulationsverfahren derart auszubilden, daß die Ortsauflösung der Messung wesentlich erhöht wird.

Diese Aufgabe wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren dadurch gelöst, daß der vom Sender emittierte Lichtstrahl moduliert wird, daß die Phasendifferenz zwischen der Modulation des gesendeten Lichtstrahls und der Modulation der empfangenen Strahlung gemessen wird und daß aus der Phasendifferenz die Lage des Objekts innerhalb der jeweiligen Auflösungszelle berechnet wird.

Durch das erfindungsgemäße Verfahren findet eine wesentliche Erhöhung der Ortsauflösung statt, insbesondere für Entfernungen, die größer als der Abstand zwischen Sender und Empfänger sind. Das erfindungsgemäße Verfahren hat ferner den Vorteil, daß es nur einen äußerst geringen Mehraufwand gegenüber den bekannten Triangulationsverfahren benötigt.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Meßeinrichtung können für verschiedene Aufgaben eingesetzt und bezüglich ihrer Ausgestaltungen daran angepaßt werden. So eignen sie sich beispielsweise als Abstandswarner für Kraftfahrzeuge und für Überwachungszwecke.

Eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß die Sendewinkel und die Empfangswinkel diskrete Werte aufweisen und daß die Auflösungszelle, in welcher sich ein Objekt befindet, für die jeweils vorliegende Kombination aus Sende- und Empfangswinkel aus einer gespeicherten Tabelle ausgelesen wird.

Diese Weiterbildung ermöglicht einerseits relativ einfache optische Sender und Empfänger und benötigt keine ausführlichen trigonometrischen Rechnungen.

Zur Ermittlung des Abstandes des Objekts der Meßeinrichtung ist bei einer ersten Ausführungsform dieser Weiterbildung vorgesehen, daß die Tabelle ferner die

Abstände  $d_1$  und  $d_2$  zwischen der Meßeinrichtung einerseits und dem nächsten und dem entferntesten Punkt der Auflösungszellen andererseits sowie diesen Punkten entsprechende Phasendifferenzen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  enthält, daß aus der Tabelle für die bei Empfang der reflektierten Strahlung vorliegende Kombination aus Sende- und Empfangswinkel die Abstände  $d_1$  und  $d_2$  und die Phasendifferenzen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  ausgelesen werden und daß aus den ausgelesenen Abständen und Phasendifferenzen und aus der gemessenen Phasendifferenz  $\gamma$  der Abstand des Objekts von der Meßeinrichtung berechnet wird. Dabei erfolgt vorzugsweise die Berechnung des Abstandes  $d$  des Objekts nach der Gleichung  $d = d_1 + (d_2 - d_1) \cdot (\gamma - \gamma_1) / (\gamma_2 - \gamma_1)$ .

Bei einer zweiten Ausführungsform ist die Berechnung des Abstandes zwischen dem Objekt und der Meßeinrichtung dadurch möglich, daß die Tabelle ferner die Abstände  $d_1$  zwischen der Meßeinrichtung und dem jeweils nächsten Punkt der Auflösungszellen und diesen Punkten entsprechende Phasendifferenzen  $\gamma_1$  enthält und daß der Abstand des Objekts von der Meßeinrichtung nach der Gleichung  $d = d_1 + (\gamma - \gamma_1) \cdot c / (4\pi \cdot f)$  berechnet wird, wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit und  $f$  die Modulationsfrequenz ist und  $\gamma$  und  $\gamma_1$  im Bogenmaß gemessen werden.

Eine Eindeutigkeit der Phasendifferenz kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren dadurch gewährt werden, daß die Modulation mit einer Frequenz erfolgt, die einer Wellenlänge von mindestens dem Vierfachen der Länge der längsten zu erfassenden Auflösungszelle entspricht.

Bei einer erfindungsgemäßen Meßeinrichtung wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß der Sender aus einer Sammellinse und einer Reihe von Lichtquellen besteht, die selektiv einschaltbar sind, daß der Empfänger aus einer weiteren Sammellinse und einer Reihe von optoelektrischen Wandlern besteht, wobei von den optoelektrischen Wandlern erzeugte Signale selektiv abfragbar sind, daß den Lichtquellen ein Modulationssignal zuführbar ist, daß das Modulationssignal und das jeweilige Ausgangssignal eines optoelektrischen Wandlers einer Phasenvergleichsschaltung zuführbar sind und daß der Ausgang der Phasenvergleichsschaltung über einen Analog/Digital-Wandler mit dem Eingang eines Mikrocomputers verbunden ist, der die Selektion der Lichtquellen und der optoelektrischen Wandler steuert und das Ausgangssignal der Phasenvergleichsschaltung derart auswertet, daß aus der jeweils eingeschalteten Lichtquelle und dem optoelektrischen Wandler, der jeweils von dem Objekt reflektierte Strahlung empfängt, geschlossen wird, in welcher von durch die Winkelauflösung des Senders und des Empfängers gegebenen Auflösungszelle sich das Objekt befindet, und daß aus der mit der Phasenvergleichsschaltung gemessenen Phasendifferenz die Lage des Objekts innerhalb der jeweiligen Auflösungszelle berechnet wird. Dabei ist insbesondere vorgesehen, daß die Lichtquellen lichtemittierende Dioden sind.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung anhand mehrerer Figuren dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung zur Erfassung eines Objekts durch einen Sender und einen Empfänger nach dem erfindungsgemäßen Verfahren,

Fig. 2 eine schematische Darstellung und ein Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Einrichtung,

Fig. 3 Spannungszeitdiagramme zur Erläuterung der

Phasenvergleichsschaltung in der Meßeinrichtung in Fig. 2.

Fig. 4 ein Diagramm zur Abhängigkeit der Ausgangsspannung der Phasenvergleichsschaltung von der Phasendifferenz und

Fig. 5 eine vereinfachte Darstellung einer Tabelle zur Auswertung des Sende- und des Empfangswinkels.

Gleiche Teile sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Fig. 1 zeigt schematisch einen Sender 1 und einen Empfänger 2, die in einem vorgegebenen Abstand an einer lediglich angedeuteten Meßeinrichtung 3 angeordnet sind. Die von dem Sender 1 und dem Empfänger 2 ausgehenden Linien stellen die Grenzen jeweils eines divergierenden Strahls des Senders bzw. eines aufzulösenden Empfangswinkels des Empfängers 2 dar. Bei einer Realisierung des Senders 1 und des Empfängers 2 mit jeweils einer Sammellinse und diskreten Lichtquellen bzw. opto-elektrischen Wandlern, wie es im Zusammenhang mit Fig. 2 später erläutert wird, können zwischen den einzelnen divergierenden Sendestrahlen und den Empfangswinkeln jeweils Zwischenräume liegen. Da die zu erfassenden Objekte meistens größer als eine Auflösungszelle sind bzw. größer als die Zwischenräume, tritt hierdurch jedoch keine Beeinträchtigung des erfindungsgemäßen Verfahrens auf.

Mit dem bekannten Verfahren kann lediglich festgestellt werden, daß ein Objekt 4 innerhalb mindestens einer Auflösungszelle 5 liegt. Mit zunehmendem Abstand von der Meßeinrichtung 3 werden diese Auflösungszellen länger, so daß die Auflösung abnimmt. Mit dem bekannten Verfahren wird also lediglich ermittelt, daß der Abstand  $d$  des Objekts von der Meßeinrichtung 3 zwischen den Werten  $d_1$  und  $d_2$  liegt.

Durch die Modulation des vom Sender emittierten Lichts und die Messung der Phasendifferenz kann die Laufzeitdifferenz und damit auch die Längendifferenz zwischen einer Strecke aus den gedachten Strahlen 6 und 7 und einer Strecke aus den Strahlen 8 und 9 bestimmt werden. Da es bei dem erfindungsgemäßen Verfahren im wesentlichen auf die Verbesserung der bei großen Abständen vorliegenden Längenauflösung ankommt, kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren bei der Auswertung dieser Laufzeitdifferenz anstelle einer genauen trigonometrischen Berechnung ein von der Meßeinrichtung zum Objekt und zurück laufender Strahl berücksichtigt werden. Die sich dann ergebenden einfachen geometrischen Zusammenhänge werden später erläutert.

Die schematische Darstellung gemäß Fig. 2 zeigt einen Sender mit einer Sammellinse 10 und mit acht lichtemittierenden Dioden 11 bis 18, die dicht nebeneinander in einer Reihe angeordnet sind. Der Empfänger umfaßt eine Sammellinse 20 und acht in einer Reihe angeordnete opto-elektrische Wandler 21 bis 28, insbesondere Photodioden oder Phototransistoren.

Ein Demultiplexer 31 leitet die Ausgangsspannung einer Endstufe 32 sequentiell zu den einzelnen lichtemittierenden Dioden 11 bis 18 weiter. In entsprechender Weise ist ein Multiplexer 33 vorgesehen, der zeitsequentiell jeweils eine der Photodioden 21 bis 28 mit dem Eingang eines Vorverstärkers 34 verbindet. Zur Modulation des vom Sender abgestrahlten Lichts wird der Endstufe 32 eine pulsierende Spannung zugeführt, deren Frequenz von der Größe der Auflösungszellen abhängt, die wiederum von dem Abstand zwischen Sender und Empfänger und dem Meßbereich der Meßeinrichtung abhängig ist. Bei Abständen von einigen Dezime-

tern und Meßbereichen bis zu 10m kommen Frequenzen im Bereich von 10 MHz bis 100 MHz in Frage. Die der Endstufe 32 zugeführten Impulse werden von einem Taktgenerator 35 erzeugt, der wiederum von einem Mikroprozessor 36 gesteuert wird.

Um Phasendifferenzen zwischen der Modulation des gesendeten und des empfangenen Lichts messen zu können, wird ein Referenzsignal benötigt, dessen Phasenlage unabhängig von dem jeweiligen Abstand ist. Dieses wird bei dem Ausführungsbeispiel dadurch erzeugt, daß das Ausgangssignal des Taktgenerators über eine weitere Endstufe 37, eine weitere lichtemittierende Diode 38, einen Lichtleiter 39, eine Photodiode 40 und einen Vorverstärker 41 geleitet wird. Die Ausgangssignale  $S_e$  und  $S_s$  der Vorverstärker 34 und 41 werden einem Phasenvergleichler zugeführt, der aus einem Multiplizierer 42 und einem Tiefpaß 43 besteht.

Die Funktion des Phasenvergleichers wird anhand der Diagramme nach Fig. 3 erläutert, wobei die Signale  $S_s$  und  $S_e$  eine Phasendifferenz  $\gamma$  aufweisen. Diese wird als die zu messende Phasendifferenz zwischen der Modulation am Sender und der Modulation am Empfänger unter Berücksichtigung der Laufzeiten in den verschiedenen Schaltungen und im Lichtleiter 39 weiterverarbeitet. Das Produkt  $S_e \cdot S_s$  weist ein Tastverhältnis auf, das sich mit der Phasendifferenz  $\gamma$  ändert. Am Ausgang des Tiefpasses 43, der als Integrator wirkt, steht dann somit eine Spannung  $U_\gamma$  zur Verfügung, die außer einer leichten Welligkeit die jeweilige Phasendifferenz darstellt. Fig. 4 stellt die Spannung  $U_\gamma$  als Funktion der Phasendifferenz dar.

Die Spannung  $U_\gamma$  wird über einen A/D-Wandler 44 einem Eingang des Mikrocomputers 36 zugeleitet. Der Mikrocomputer 36 und damit auch die gesamte Meßeinrichtung 3 weist einen Ausgang 45 auf, an welchem Daten, welche die Lage von Objekten angeben, zur Verfügung stehen und zu entsprechenden Ausgabeeinrichtungen (beispielsweise zu einem Display) oder zu Verarbeitungseinrichtungen weitergeleitet werden können.

Der Mikrocomputer 36 steuert ferner den Demultiplexer 31 und den Multiplexer 33 derart, daß das von jeder lichtemittierenden Diode ausgesendete und von einem Objekt reflektierte Licht von jeder der Photodioden 21 bis 28 "abgefragt" wird.

Fig. 5 zeigt eine im Speicher des Mikrocomputers 36 (Fig. 2) abgelegte Tabelle, in welcher unter Adressen, welche die Kombinationen aus Sendewinkel und Empfangswinkel darstellen, der Abstand  $d_1$  und der Phasenwinkel  $\gamma_1$  abgelegt sind. Empfängt beispielsweise die Photodiode 22 reflektiertes Licht, während die lichtemittierende Diode 12 leuchtet, so wird für  $d_1$  der Wert  $d_1$  (1222) und für  $\gamma_1$  der Wert  $\gamma_1$  (1222) ausgelesen. Diese Werte können vorausberechnet und bei jeder Meßeinrichtung einer Serie gespeichert oder in einem Eichvorgang je individueller Meßeinrichtung ermittelt und gespeichert werden. Die Entfernung des Objekts 4 (Fig. 1) kann dann nach der Gleichung  $d = d_1 + (\gamma - \gamma_1) \cdot c / (4\pi \cdot f)$  berechnet werden.

Bei optischen Meßverfahren, die auf dem Aussenden von Licht und Empfangen von reflektierten Licht beruhen, wird häufig das ausgesendete Licht moduliert, um Fremdlichteinflüsse zu unterdrücken. Dies kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ebenfalls erfolgen. Sollte hierzu die erfindungsgemäße Modulation nicht ausreichen, so kann eine weitere Modulation durchgeführt werden, beispielsweise in einem wesentlich niedrigeren Frequenzbereich.

1. Verfahren zur Bestimmung der Lage eines Objekts in bezug auf eine Meßeinrichtung mit einem optischen Sender, der einen Lichtstrahl unter einem sich verändernden Sendewinkel emittiert, und mit einem vom Sender beabstandeten winkelauflösenden optischen Empfänger, wobei aus dem jeweiligen Sendewinkel und dem jeweiligen Winkel, unter dem der Empfänger von dem Objekt reflektierte Strahlung empfängt (Empfangswinkel), geschlossen wird, in welcher von durch die Winkelauflösung des Senders und des Empfängers gegebenen Auflösungszelle sich das Objekt befindet, **dadurch gekennzeichnet**, daß der vom Sender emittierte Lichtstrahl moduliert wird, daß die Phasendifferenz zwischen der Modulation des gesendeten Lichtstrahls und der Modulation der empfangenen Strahlung gemessen wird und daß aus der Phasendifferenz die Lage des Objekts innerhalb der jeweiligen Auflösungszelle berechnet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sendewinkel und die Empfangswinkel diskrete Werte aufweisen und daß die Auflösungszelle, in welcher sich ein Objekt befindet, für die jeweils vorliegende Kombination aus Sendewinkel und Empfangswinkel aus einer gespeicherten Tabelle ausgelesen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Tabelle ferner die Abstände  $d_1$  und  $d_2$  zwischen der Meßeinrichtung einerseits und dem nächsten und dem entferntesten Punkt der Auflösungszellen andererseits sowie diesen Punkten entsprechende Phasendifferenzen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  enthält, daß aus der Tabelle für die bei Empfang der reflektierten Strahlung vorliegende Kombination aus Sendewinkel und Empfangswinkel die Abstände  $d_1$  und  $d_2$  und die Phasendifferenzen  $\gamma_1$  und  $\gamma_2$  ausgelesen werden und daß aus den ausgelesenen Abständen und Phasendifferenzen und aus der gemessenen Phasendifferenz  $\gamma$  der Abstand des Objekts von der Meßeinrichtung berechnet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Berechnung des Abstandes  $d$  des Objekts nach der Gleichung  $d = d_1 + (d_2 - d_1) \cdot (\gamma - \gamma_1) / (\gamma_2 - \gamma_1)$  erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Tabelle ferner die Abstände  $d_1$  zwischen der Meßeinrichtung und dem jeweils nächsten Punkt der Auflösungszellen und diesen Punkten entsprechende Phasendifferenzen  $\gamma_1$  enthält und daß der Abstand  $d$  des Objekts von der Meßeinrichtung nach der Gleichung  $d = d_1 + (\gamma - \gamma_1) \cdot c / (4\pi \cdot f)$  berechnet wird, wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit und  $f$  die Modulationsfrequenz ist und  $\gamma$  und  $\gamma_1$  im Bogenmaß gemessen werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Modulation mit einer Frequenz erfolgt, die einer Wellenlänge von mindestens dem Vierfachen der Länge der längsten zu erfassenden Auflösungszelle entspricht.

7. Meßeinrichtung zur Bestimmung der Lage eines Objekts in bezug auf die Meßeinrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß der Sender (1) aus einer Sammellinse (10) und einer Reihe von Lichtquellen (11 bis 18) besteht, die selektiv einschaltbar sind, daß der Empfänger (2) aus einer weiteren Sammellinse

(20) und einer Reihe von opto-elektrischen Wandlern (21 bis 28) besteht, wobei von den opto-elektrischen Wandlern (21 bis 28) erzeugte Signale selektiv abfragbar sind, daß den Lichtquellen (11 bis 18) ein Modulationssignal zuführbar ist, daß das Modulationssignal und das jeweilige Ausgangssignal eines opto-elektrischen Wandlers (21 bis 28) einer Phasenvergleichsschaltung (42, 43) zuführbar sind und daß der Ausgang der Phasenvergleichsschaltung (42, 43) über einen Analog/Digital-Wandler (44) mit dem Eingang eines Mikrocomputers (36) verbunden ist, der die Selektion der Lichtquellen (11 bis 18) und der opto-elektrischen Wandler (21 bis 28) steuert und das Ausgangssignal der Phasenvergleichsschaltung (42, 43) derart auswertet, daß aus der jeweils eingeschalteten Lichtquelle (11 bis 18) und dem opto-elektrischen Wandler (21 bis 28), der jeweils von dem Objekt (4) reflektierte Strahlung empfängt, geschlossen wird, in welcher von durch die Winkelauflösung des Senders (1) und des Empfängers (2) gegebenen Auflösungszelle sich das Objekt (4) befindet, und daß aus der mit der Phasenvergleichsschaltung (42, 43) gemessenen Phasendifferenz die Lage des Objekts (4) innerhalb der jeweiligen Auflösungszelle berechnet wird.

8. Meßeinrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquellen (11 bis 18) lichtemittierende Dioden sind.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

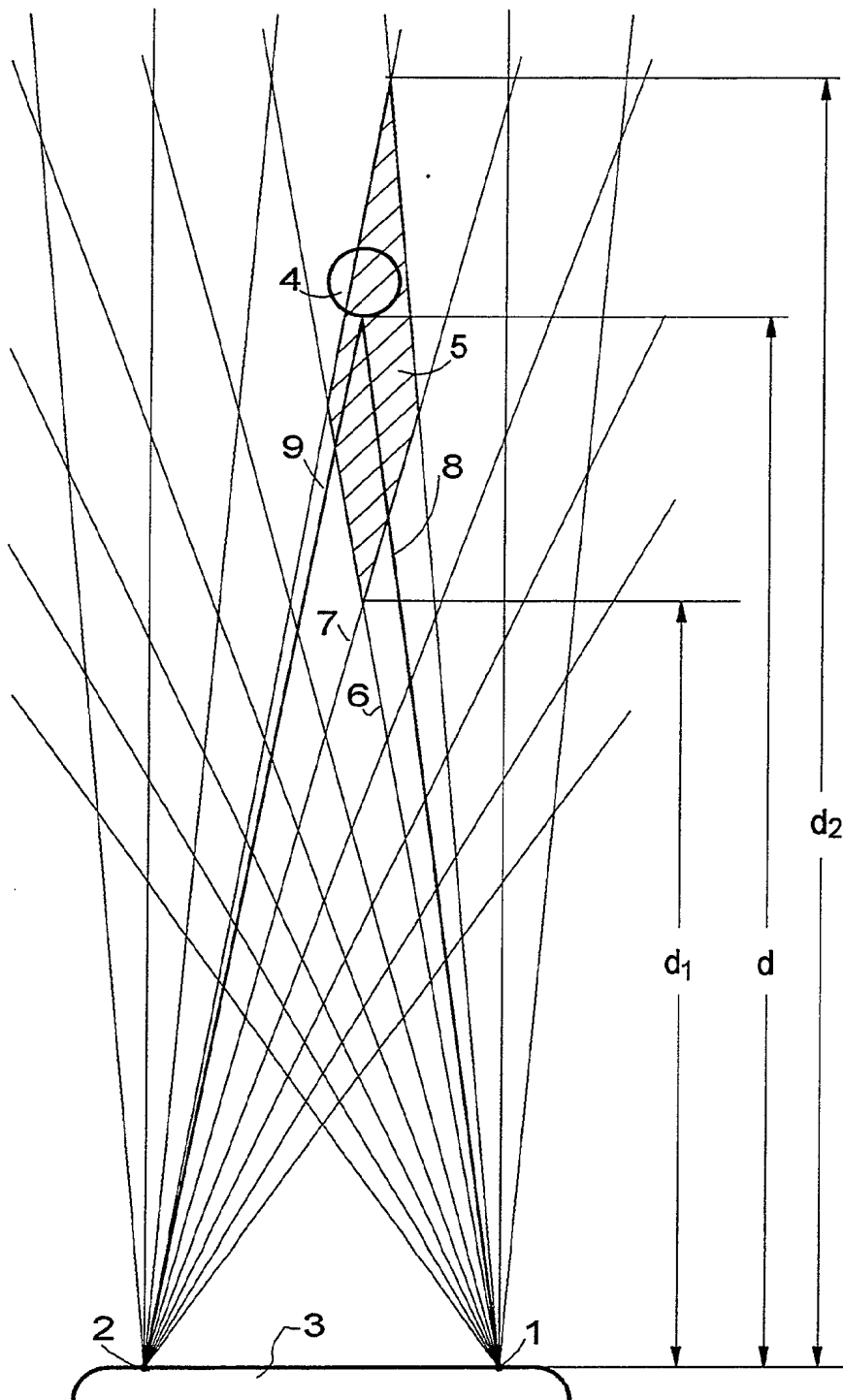


Fig.1

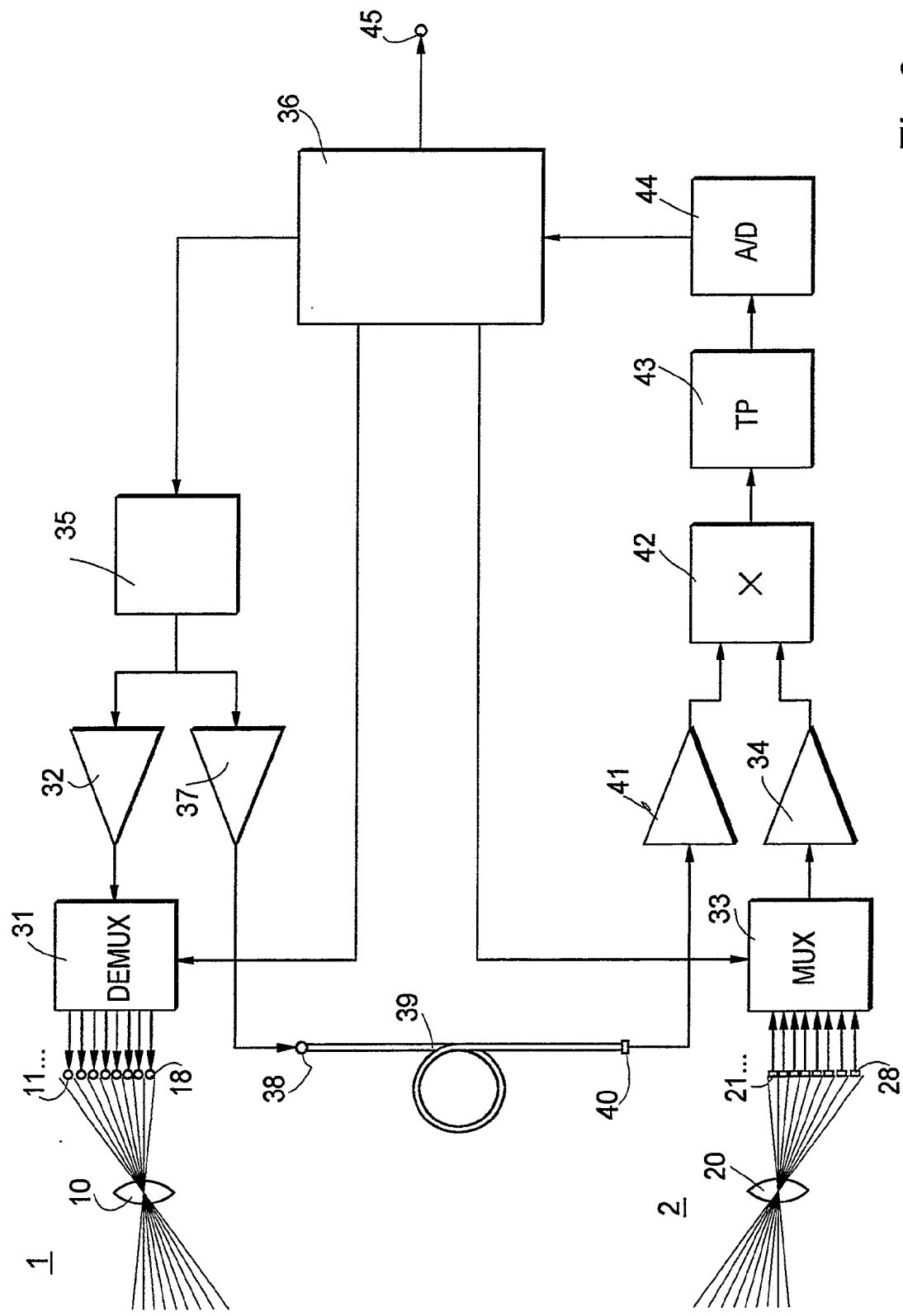


Fig.2

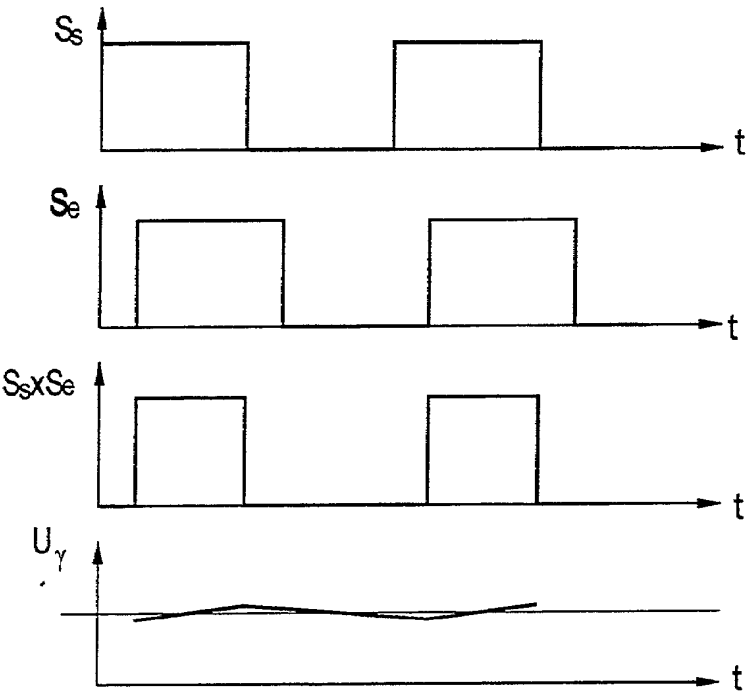


Fig.3

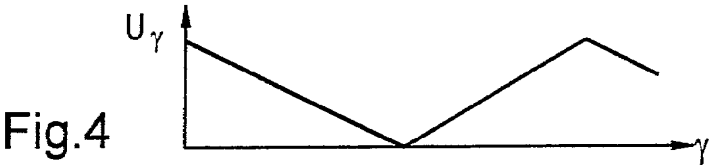


Fig.4

S	E	$d_1$	$\gamma_1$
11	21	$d_1(11,21)$	$\gamma_1(11,21)$
11	22	$d_1(11,22)$	$\gamma_1(11,22)$
11	23	$d_1(11,23)$	$\gamma_1(11,23)$
12	21	$d_1(12,21)$	$\gamma_1(12,21)$
12	22	$d_1(12,22)$	$\gamma_1(12,22)$
18	28	$d_1(18,28)$	$\gamma_1(18,28)$

Fig.5